

筲筴湖大型海藻群落的几种钩虾 亚目端足类的种群产量研究

郑新庆¹, 黄凌风^{1,2*}, 贾晓燕¹, 傅迅毅³, 徐向伟³, 黄邦钦⁴

(1. 厦门大学海洋学系, 福建 厦门 361005; 2. 福建省海洋环境科学联合重点实验室, 福建 厦门 361005; 3. 厦门市筲筴湖管理中心, 福建 厦门 361005; 4. 厦门大学环境科学与工程系, 福建 厦门 361005)

摘要: 于 2007 年 12 月到 2008 年 5 月在厦门筲筴湖采集端足类样品, 分析了筲筴湖大型海藻群落中端足类的种群结构并估算其种群产量。结果显示, 生活在筲筴湖大型海藻群落的端足类生活史短暂, 上野螺赢蜚 (*Corophium uenoi*)、日本大螯蜚 (*Grandidierella japonica*) 和强壮藻钩虾 (*Ampithoe valida*) 的股群生产时限分别为 30, 120 和 90 d。在各月采集的样品中, 筲筴湖端足类具有雌体个体占优势, 抱卵雌体和幼体数量比例高的种群结构特征。筲筴湖端足类种群生产力很高, 每 6 个月上野螺赢蜚、强壮藻钩虾和日本大螯蜚的种群产量分别为 101.91, 29.17 和 9.49 g / m² (干重), 半年周转率分别为 12.34, 8.34 和 4.93。推测大型海藻群落中丰富的食物资源和端足类自身的生活史策略是筲筴湖端足类种群产量高的主要原因。此外, 种群内个体的迁移也可能导致某些端足类 (如强壮藻钩虾) 种群生产力的高估。

关键词: 端足类; 种群产量; 周转率; 大型海藻; 筲筴湖

中图分类号: Q145.2 文献标识码: A 文章编号: 0253-4193(2011)06-0134-08

1 引言

在底栖大型海藻群落中, 常常栖息着一类个体小于 2.5 mm 的中型啃食者 (mesograzers), 它们主要是由小型甲壳动物 (端足类和等足类)、腹足类软体动物和多毛类组成。其中, 在浅滩礁岩 (shallow reef crests)、潟湖、潮间带和岩石滩的一些大型海藻群落, 端足类往往是其中的优势种^[1-8]。由于个体小, 生长迅速和 r 选择的繁殖策略, 端足类的种群周转迅速, 在大型海藻群落中它们往往有着很高的生物量和种群生产力^[9-10], 通过摄食作用它们在海洋底栖大型海藻群落中起着极其重要的作用^[2,7,11], 是联结初级生产者和更高营养级的关键通道^[12-13], 在沿岸生态系统的营养流动中起着关键的作用。

关于端足类种群产量的研究国外已有相当多的

报道^[9-10, 14-16]。由于难以确定端足类的年龄结构, 在许多研究中, 经常使用体长频数法 (size-frequency method) 来估算它的种群产量^[10, 17-19]。不过, 用体长频数法估计端足类种群产量时, 需要估算端足类的股群生产时限 (cohort production interval, CPI), 即股群完成整个生长发育过程所需要的天数。在先前已报道的研究中, CPI 值主要是通过端足类的体长频数资料^[18-19]或通过实验室获得端足类的期望寿命来确定。但是用体长频数资料确定端足类的 CPI 主观性强, 误差较大; 而室内的培养实验周期长, 实验条件也无法与现场保持同步。而且, 在实验室培养, 端足类的生存条件相对优越, 用这个方法获得的 CPI 往往比实际值要高得多, 这样经常导致端足类种群产量的低估。Pardal 等^[15]、Dias 和 Sprung^[14] 分别在用 Allen 曲线法及增量和减员求和法估算端足类的种群产量

收稿日期: 2011-01-15; 修订日期: 2011-03-20。

基金项目: 国家高技术研究发展计划项目 (2007AA091704); 厦门市科技计划项目 (3502Z20102004)。

作者简介: 郑新庆 (1983—), 男, 福建省德化县人, 博士研究生, 主要从事海洋生态学研究。E-mail: daozi@xmu.edu.cn

* 通信作者: 黄凌风 (1968—), 男, 福建省晋江市人, 教授, 从事海洋生态学和恢复生态学研究。E-mail: huanglf@xmu.edu.cn

时,以其体长频数资料为基础利用 FISAT II 软件模拟了端足类的生长曲线。本研究借鉴了这种思路,采用 FISAT II 的 Bhattacharya 法估算了端足类的 CPI,在此基础上利用体长频数法估算了端足类的种群产量,为进一步评估端足类对筲筴湖大型海藻群落的影响提供基础的数据支持。

2 材料与方法

2.1 采样

样品在厦门市筲筴湖的内湖水深不到 2 m 的浅水水域采集。采样工具为箱式采样器,采样箱底截面规格 0.2 m×0.2 m,采样时间选择筲筴湖大型海藻的生长季节(2007 年 12 月—2008 年 5 月),每月采样一次,每次采集 1 个样品。将样品带回实验室,将海藻放在筛网孔径 0.5 mm 的不锈钢筛桶中,用海水冲走海藻表面的泥沙,在室内将海藻和端足类分离,并将端足类固定在 10% 的福尔马林中。

2.2 端足类的种群产量的估算

(1) 端足类头长、体长和体重的测定和关系式的获得。

取钩虾亚目的端足类各 100~200 只,在蔡氏解剖镜下用目微尺测量其头长(Head Length, HL),然后用解剖镜配备的数码照相机拍照,用曲线测量工具 3-Q win 软件测量其体长(Body Length, BL)。用吸水纸吸干钩虾表面水分后,以精确度为 0.1 mg 的电子天平称重(Fresh Weight, FW)。HL-BL 关系式通过线性回归获得^[9,20-21],HL-FW 关系式通过指数回归获得^[9]。

(2) 端足类的种群结构分析

在解剖镜下对端足类进行分类,获得以下几个指标:个体数 N 、头长 HL 、雌雄比(Female/Male, F/M)和雌性抱卵个体的比例(Ovigerous female/Total female, O/T)。具体如下:用解剖镜上目微尺测量优势端足类的 HL ,通过 $HL-BL$ 关系算得个体体长。雌雄个体根据第二腮足的差异和抱卵囊(板)有无进行分辨。强壮藻钩虾和日本大螯蜚的雌性个体第一和第二腮足相似,而雄性个体第一第二腮足异形,第二腮足掌节发达;上野螺赢蜚通过雌雄个体第二触角的差异判断性别,雄性个体第二触角极其发达,远长于第一触角。

(3) 端足类的种群产量估算

端足类的生产力采用体长频数法(size frequency method)估算^[10],公式如下:

$$P = [I \sum_{j=1}^i (\bar{n}_j - \bar{n}_{j+1}) \times \sqrt{W_j W_{j+1}}] \times (D/CPI),$$

其中, P 是 D 天内端足类的种群产量, i 表示划分的体长组, \bar{n}_j 表示某一体长 j 的样本的平均数量(个/ m^2), W_j 表示某一体长 j 的样本的平均干重(g/m^2); I 表示次损失因子(time loss factor)。 D/CPI 为校正因子,其中 CPI 指股群生产时限(cohort production interval),表示股群完成整个生长发育所需要的天数,利用端足类的体长频数数据,通过 FISAT II 工具的 Bhattacharya 法划分股群^[15],并在此基础上估算 CPI 值。

3 结果

3.1 几种端足类的种群结构特征

筲筴湖大型海藻(石莼)群落(下称石莼藻丛)主要的钩虾亚目端足类有上野螺赢蜚、日本大螯蜚和强壮藻钩虾三种。它们的种群结构特征如图 1、图 2 和图 3 所示。

如图 1 显示,在整个调查期间石莼藻丛中都有上野螺赢蜚存在,从 12 月到 3 月,丰度持续增加,并在 3 月达到峰值。种群主要以头长 0.30~0.45 mm 的个体为主,雌雄分化早,难以分辨幼体和成熟个体。雌体早抱卵,头长 0.25~0.30 mm 的个体就已发现抱卵现象存在,在 12 月—3 月,O/T 值介于 0.52~0.83,而在 4—5 月,O/T 值为 0.34~0.43。雌雄比(F/M)也有相同的变化趋势,从初冬(12 月)接近 3:1 到春季(4,5 月)逐渐接近于 1:1。由于没有测量体长,因此无法从图示中看出雌雄个体的最大体长差异,但在解剖镜下观察,雄性上野螺赢蜚的最大体长明显高于雌体。

图 2 显示,在调查期间石莼藻丛都有日本大螯蜚的分布,但丰度的峰值出现在 12 月,而后随时间的推移,逐渐降低。种群主要以 4~8 mm 大小的个体为主,在丰度最高的 12 月和 1 月,幼体的数量分别占总个体数量的 26.2% 和 21.3%。一般雌雄个体在体长 4~5 mm 时开始分化,但在冬季,也有相当比例的个体在体长 5~6 mm 时性分化仍然不明显。雌雄个体的最大体长分别为 ♀11.61 mm 和 ♂11.24 mm,在冬季(1—3 月)日本大螯蜚雌体首次抱卵时的个体较大,体长达 6~7 mm 时才开始抱卵,而在秋末(12 月)体长为 4~6 mm 时就已经开始抱卵。O/T 值在整个调查期间都较低,在丰度最高的 12 月和 1 月,雌体占明显的优势,F/M 值分别为 2.45 和 1.36。

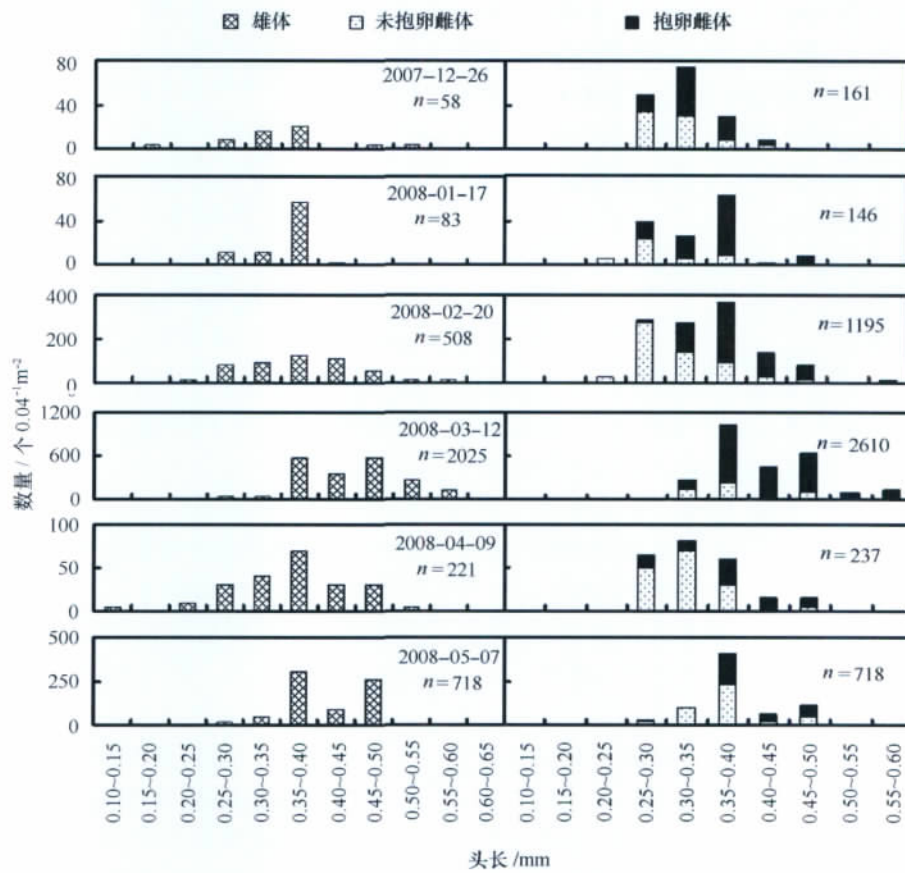


图 1 筲筴湖石莼主导的藻丛中上野螺赢蜚头长的频数分布

图 3 显示,在整个调查期间石莼藻丛都有强壮藻钩虾的分布,与上野螺赢蜚类似,强壮藻钩虾在 3 月出现了丰度的峰值。种群结构上以幼体为主,在个体丰度最高的 2—4 月,幼体数量分别占总个体数的 41.9%,78.4%和 55.0%。强壮藻钩虾在体长 5~6 mm 时就开始出现雌雄个体的分化,8~10 mm 时性成熟的雌体开始抱卵,在 2—3 月,首次抱卵的雌体体长为 9~10 mm,而在 4—5 月,首次抱卵的雌体体长为 8~9 mm。O/T 值在 2 和 5 月较低,约 30%,3 月和 4 月分别为 41.9%和 52.7%,雌体数量明显多于雄体,雌雄比介于 1.5~3.5。雌雄个体最大体长分别为♀19.23 mm 和♂19.89 mm,各月

雌体的平均体长都高于雄体。

3.2 端足类的种群产量

通过 FISAT II 的 Bhattacharya's Method 分析,上野螺赢蜚、日本大螯蜚和强壮藻钩虾的 CPI 分别约为 30 d,120 d 和 90 d,生活史短暂。不过,在筲筴湖大型海藻群落中的端足类种群产量却很高。其中,上野螺赢蜚种群生产力最高,半年干重达 101.91 g/m²,半年周转率为 12.34;日本大螯蜚的个体虽然比强壮藻钩虾小(图 2,3),但是它的周转率和生产力都明显低于强壮藻钩虾。如表 1 所示,强壮藻钩虾和日本大螯蜚的半年生产力分别为 29.17 g 和 9.49 g/m²(干重),半年周转率分别为 8.34 和 4.93(表 1)。

表 1 利用体长频数法估算筲筴湖石莼藻丛几种钩虾亚目的端足类的种群产量和周转率

种类	CPI/d	平均生物量(干重) /g·m ⁻²	半年种群产量 /g·m ⁻²	半年周转率
上野螺赢蜚	30	8.26	101.91	12.34
强壮藻钩虾	90	3.54	29.17	8.34
日本大螯蜚	120	1.92	9.49	4.93

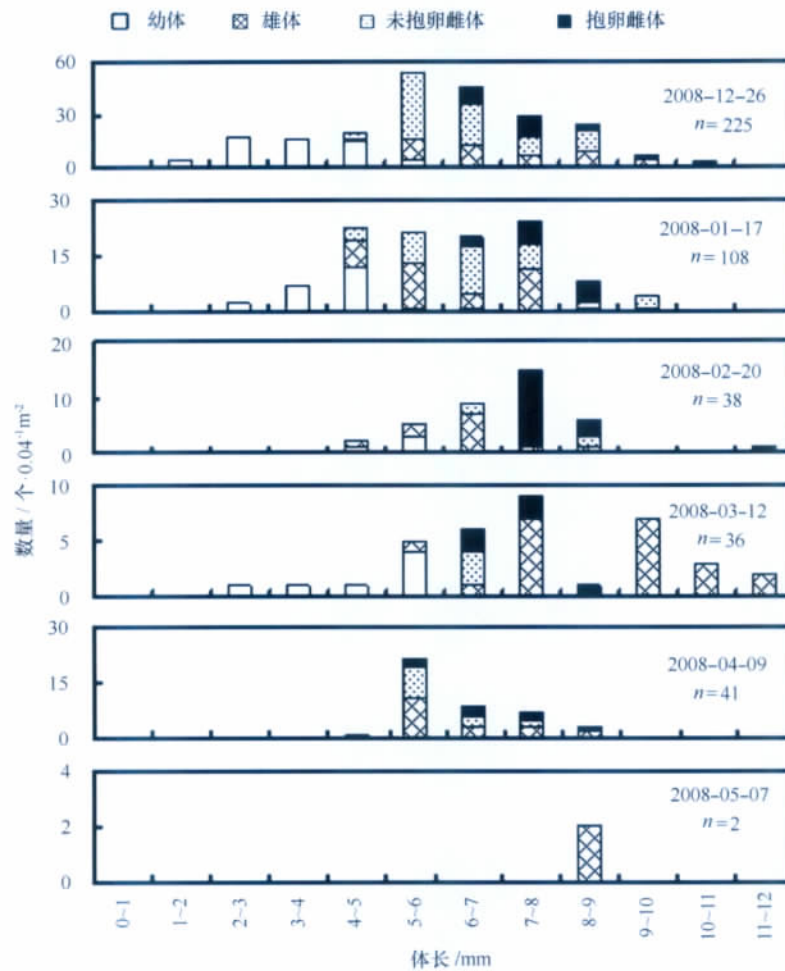


图2 笕簕湖石莼主导的藻丛中日本大螯蜚体长的频数分布

通过股群划分,从2008年1月—2008年5月,强壮藻钩虾种群可划分为6个股群,各股群在不同时期的个体丰度如表2所示。结果显示,3月采集的C1股群的数量远大于2月采集的数量,个体密度从2月的1 083个/m²增加到3月的2 881个/m²,而到4月,该股群个体密度则迅速下降,只为3月的1/7左右。由于强壮藻钩虾在体长7~8 mm时即达到性成熟(图3),根据股群分析的结果,强壮藻钩虾大约只需20~30 d即能从幼体进入性成熟状态并开始繁殖活动。

4 讨论

Robertson(1981)在汇总了一系列水生无脊椎动物的年周转率的数据后发现,周转率 P/B 和生物的生命(life span,用 L 表示,以a为单位)存在明显的负相关关系,并提出用于估算水生无脊椎动物的

表2 利用FISAT II软件的Bhattacharya法划分强壮藻钩虾的股群和各股群在不同时期的丰度

日期	股群	平均体长/cm	丰度/个·m ⁻²
200-02-20	C1	3.49 ± 1.34	1 083
	C2	7.84 ± 1.27	607
	C3	12.78 ± 0.63	263
2008-03-12	C4	4.00 ± 1.08	9 178
	C1	9.00 ± 2.44	2 881
2008-04-09	C2	15.50 ± 1.72	152
	C5	3.79 ± 0.73	942
	C4	8.84 ± 2.56	1 379
2008-05-07	C1	13.83 ± 2.30	415
	C6	4.00 ± 1.05	410
	C5	7.92 ± 0.68	314

年周转率的经验公式($\log_{10}(P/B) = 0.660 - 0.726 \cdot$

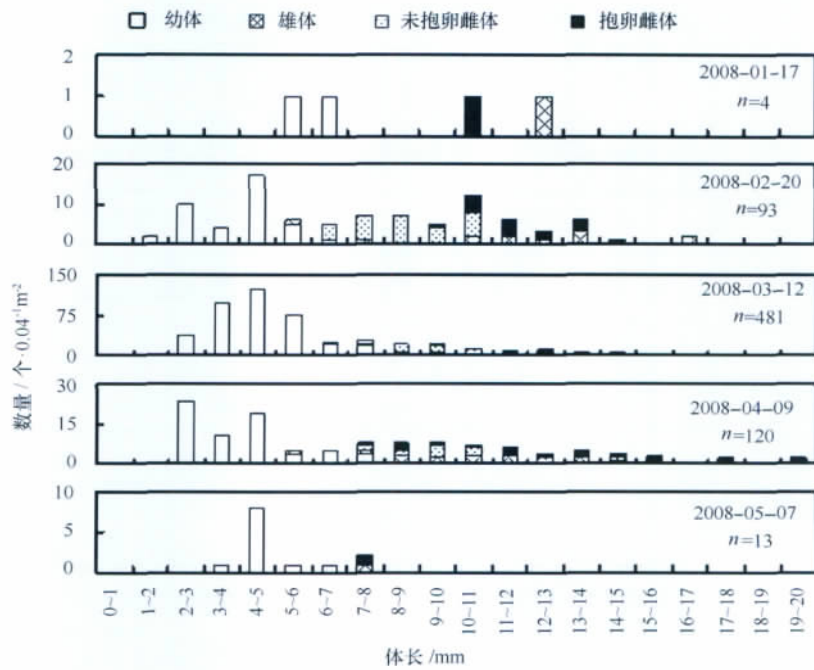


图 3 笕筲湖石莼主导的藻丛中强壮藻钩虾体长的频数分布

$\log_{10} L)^{[22]}$ 。Wilddish(1984)在 Robertson 的基础上,提出了一个专门应用于端足类分析的经验公式($\log_{10}(P/B)=0.660-1.10 \times \log_{10} L)^{[23]}$ 。不过,根据我们的估算结果,用 Robertson 的经验公式估算笕筲湖的端足类周转率更为准确(图 4)。根据 Robertson 的经验公式,我们利用体长频数法估算的上野螺赢蜚、强壮藻钩虾和日本大螯蜚的年周转率(表 3)与 Robertson 的经验公式估算的周转率的差异分别为 1%,9.7%和 3%,相差不到 10%。因此,在今后的研究当中,可以利用这个经验公式较为准确的估算笕筲湖或相似水域的端足类的种群周转率,进而估算它的种群产量。

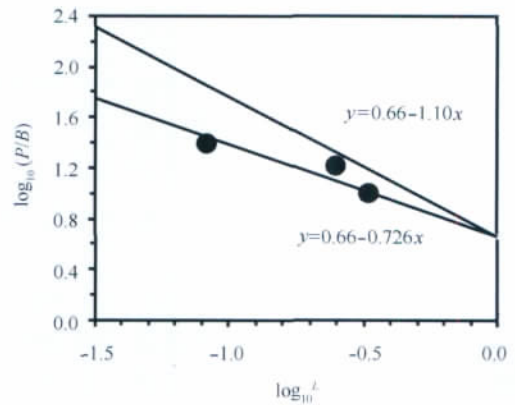


图 4 笕筲湖几种藻栖端足类周转率

表 3 海洋大型植物群落中端足类的生产力和周转率

端足类种类	研究地点	植物种类	年生产力 /g · m ⁻²	年周转率	来源
<i>Gammarus mucronatus</i>	美国纽约河	<i>Zostera marina</i>	5~6.5	36.8~51.2	参考文献[20]
<i>Gammarus mucronatus</i>	美国纽约河	<i>Ulva</i> sp.	10.2~12.9	60.8~76.8	参考文献[20]
<i>Gammarus mucronatus</i>	美国切萨皮克湾	<i>Zostera marina</i> , <i>Ruppia maritima</i>	7.7	23.6~76.8	参考文献[20]
<i>Microdeutopus gryllotalpa</i>	西班牙海岸潟湖	Benthic macroalgae	16.1~27.3	12.7~14.2	参考文献[32]
<i>Gammarus locusta</i>	葡萄牙佐渡口	<i>Ulva</i> sp.	2.5	—	参考文献[9]
<i>Jassa slatteryi</i>	韩国光阳湾	<i>Zostera marina</i>	20.07	5.21	参考文献[18]
<i>Ampithoe valida</i>	笕筲湖	<i>Ulva lactuca</i>	29.17	16.68	本研究
<i>Corophium uenoi</i>	笕筲湖	<i>Ulva lactuca</i>	101.91	24.68	本研究
<i>Grandidierella japonica</i>	笕筲湖	<i>Ulva lactuca</i>	9.49	9.86	本研究

由于种类和栖息地的不同,海洋端足类的种群产量范围波动很大。在非植被栖息地,除 *Ampelisca* 属的少数种类外^[24-25],大多年生产力水平介于 $0\sim 5\text{ g/m}^2$ (干重),在已报道的文献里,很大一部分端足类的种群年产量(干重)小于 3 g/m^2 ^[19, 26-32]。而在植被栖息环境,如在潟湖和潮间带的一些海藻场和海草床,端足类的年生产力往往很高,一般大于 5 g/m^2 (干重),如在韩国光阳湾的 *Zostera marina* 群落和西班牙沿岸潟湖的底栖大型海藻群落中,钩虾 *Jassa slatteryi* 和 *Microdeutopus gryllotalpa* 的种群年产量更是高达 15 g/m^2 (干重)以上(见表3)。虽然我们的结果仅估算了2007年12月到2008年5月期间端足类的种群生产力,无法与前述他人的研究结果作准确的比较。不过,如果假设筲笊湖剩余的月份没有任何端足类的分布(由于海藻的消亡,剩余月份沉积物表面很少采集到端足类样品),我们估算出的端足类年种群产量和周转率如表3所示。与文献报道的情况类似,筲笊湖石莼藻丛的端足类种群产量非常高,尤其是上野螺赢蜚,属于已报道的海洋大型水生植物群落中种群产量最高的端足类(参见表3)。海藻场具有丰富的食物资源可能是藻场内端足类高产量的重要原因之一。很多端足类直接以大型海藻^[1-3, 7, 11]或以海藻上的附生藻类,如丝状海藻^[4-6]和附生硅藻^[13]为食,这样,丰富、多样的食物资源显著增强了栖息生境对端足类的承载能力,减少种内或种间对食物和空间的竞争,进而提高端足类的种群生产力。

不过,我们也发现,在筲笊湖的几种钩虾亚目的端足类的种群产量存在明显差异,这种差异可能和它们各自的生活史策略密切相关。Fredette和Diaz认为,个体小,生长快和股群生产时限或寿命短(CPI)意味着高的周转率^[10]。Robertson(1981)和Willdish(1984)也发现,端足类的周转率 P/B 和平均寿命存在明显的负相关关系。上野螺赢蜚虽然生活史短暂(约30 d),但是相对日本大螯蜚和强壮藻钩虾,它的周转率明显更高(见表2,3)。这样,虽然上野螺赢蜚个体小,但较高的周转率(24.68)保证了上野螺赢蜚较快的种群更新。事实上,上野螺赢蜚有如此高的周转率并不意外,Casabianca^[34]也曾报道过与上野螺赢蜚大小相当的隐居螺赢蜚(*Corophium insidiosum*)的高周转率(12~19.5),与我们对上野螺赢蜚的估算结果相当。这样,高种群周转率结合高生物量水平,使筲笊湖上野螺赢蜚比日本大螯蜚和强壮藻

钩虾具有更高的种群产量就不足为奇了。此外,筲笊湖的上野螺赢蜚表现出较高的雌雄比(F/M)和抱卵个体比例(O/T)的种群结构,这样的繁殖策略也有利于上野螺赢蜚在短期内迅速扩大种群规模,在环境优越时迅速增加它的种群产量。

Wilber和Clarke汇总了包括端足类、多毛类等在内的一系列海洋无脊椎动物的生产力,发现这些无脊椎动物的种群产量与其最大体长存在明显的负相关关系^[35]。在筲笊湖,日本大螯蜚的最大体长小于强壮藻钩虾(参见图2,图3),但是它的生产力却远低于强壮藻钩虾,这可能与日本大螯蜚生命周期长和平均生物量较低有关(参见表1)。尽管强壮藻钩虾的个体较大,但它的期望寿命短,其种群周转率高于日本大螯蜚。这样,即使在二者平均生物量相当的情况下,强壮藻钩虾的种群产量也会比日本大螯蜚来得高。Fredette和Diaz在纽约河的调查中发现,在石莼主导的群落中,端足类 *Gammarus mucronatus* 的生物量虽然仅 0.169 g/m^2 ,远不如筲笊湖的日本大螯蜚,但是由于 *G. mucronatus* 的种群周转率很高(60.8~76.8),所以,它的年生产力高达 $10.2\sim 12.9\text{ g/m}^2$ (干重)^[10],远高于筲笊湖的日本大螯蜚(参见表3)。由此可见,筲笊湖石莼藻丛中强壮藻钩虾的平均生物量高和周转率高是其种群产量远高于日本大螯蜚的主要原因。

此外,强壮藻钩虾的种群产量高还可能与其种群补充量较高有关。强壮藻钩虾生长迅速,性成熟早,只需20~30 d即能从幼体状态进入性成熟阶段,并开始繁殖活动。而且,强壮藻钩虾的雌性个体和抱卵个体比例较高(见图3),个体繁殖力也高(41.7%~78.4%,图3),这样的繁殖策略有利于保证强壮藻钩虾获得较高的种群补充量,在环境优越时,保证种群迅速增殖扩大。另外,筲笊湖强壮藻钩虾种群产量高还可能与其个体的迁移有关。我们在利用FISAT II的Bhattacharya法划分强壮藻钩虾的股群时发现,在3月采集的C₁股群的数量远大于2月采集的数量,如果不考虑外源补充的话,即使2—3月期间该股群没有任何个体死亡,也不可能出现该股群个体数量激增的情况。可见,外源个体的补充,例如从相对较深的水域迁移到浅水水域,或在水流的带动下造成幼体的随波逐流等,造成区块间强壮藻钩虾个体密度分布不均,可能是导致2—3月强壮藻钩虾的C₁股群个体密度激增的原因。因此,利用体长频数法估算强壮藻钩虾的种群产量时,有

可能会高估它的平均生物量, 也就会相应地高估其种群产量。这个问题有待进一步研究解决。

参考文献:

- [1] TEGNER M J, DAYTON P K. El Niño effects on southern California kelp forest communities[J]. *Advances in Ecological Research*, 1987, 17: 243—279.
- [2] GEERTZ-HANSEN O, SAND-JENSEN K A J, HANSEN D F, et al. Growth and grazing control of abundance of the marine macroalga, *Ulva lactuca* L. in a eutrophic Danish estuary[J]. *Aquatic Botany*, 1993, 46: 101—109.
- [3] DUFFY J E, HAY M E. Strong impacts of grazing amphipods on the organization of a benthic community[J]. *Ecological Monographs*, 2000, 70: 237—263.
- [4] DUFFY J E. Amphipods on seaweeds: partners or pests? [J]. *Oecologia*, 1990, 83: 267—276.
- [5] BRAWLEY S H, FEI X G. Studies of mesoherbivory in aquaria and in an unbarricaded mariculture farm on the Chinese coast[J]. *Journal of Phycology*, 1987, 23: 614—623.
- [6] BRAWLEY S H, ADEY W H. The effect of micrograzers on algal community structure in a coral reef microcosm[J]. *Marine Biology*, 1981, 61: 167—177.
- [7] BALDUCCI C, SFRISO A, PAVONI B. Macrofauna impact on *Ulva rigida* C. Ag. production and relationship with environmental variables in the lagoon of Venice[J]. *Marine Environmental Research*, 2001, 52: 27—49.
- [8] KRAUFVELIN P, SALOVIUS S, CHRISTIE H, et al. Eutrophication-induced changes in benthic algae affect the behaviour and fitness of the marine amphipod *Gammarus locusta* [J]. *Aquatic Botany*, 2006, 84: 199—209.
- [9] COSTA F O, COSTA M H. Life history of the amphipod *Gammarus locusta* in the Sado estuary (Portugal)[J]. *Acta Oecologica-International Journal of Ecology*, 1999, 20: 305—314.
- [10] FREDETTE T J, DIAZ R J. Secondary production of *Gammarus mucronatus* say (Amphipoda: Gammaridae) in Warm Temperate Estuarine Habitats, York River, Virginia[J]. *Journal of Crustacean Biology*, 1986, 6: 729—741.
- [11] HAUXWELL J, MCCLELLAND J, BEHR P J, et al. Relative importance of grazing and nutrient controls of macroalgal biomass in three temperate shallow estuaries[J]. *Estuaries*, 1998, 21: 347—360.
- [12] EDGAR G J, SHAW C. The production and trophic ecology of shallow-water fish assemblages in southern Australia III. General relationships between sediments, seagrasses, invertebrates and fishes[J]. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 1995, 194: 107—131.
- [13] AIKINS S, KIKUCHI E. Grazing pressure by amphipods on microalgae in Gamo Lagoon, Japan[J]. *Marine Ecology Progress Series*, 2002, 245: 171—179.
- [14] DIAS N, SPRUNG M. Population dynamics and production of the amphipod *Orchestia gammarellus* (Talitridae) in a Ria Formosa salt-marsh (southern Portugal)[J]. *Crustaceana*, 2003, 76: 1123—1141.
- [15] PARDAL M A, MARQUES J C, METELO I, et al. Impact of eutrophication on the life cycle, population dynamics and production of *Ampithoe valida* (Amphipoda) along an estuarine spatial gradient (Mondego estuary, Portugal)[J]. *Marine Ecology-Progress Series*, 2000, 196: 207—219.
- [16] SUBIDA M D, CUNHA M R, MOREIRA M H. Life history, reproduction, and production of *Gammarus chevreuxi* (Amphipoda: Gammaridae) in the Ria de Aveiro, northwestern Portugal[J]. *Journal of the North American Benthological Society*, 2005, 24: 82—100.
- [17] FREDETTE T J, DIAZ R J, VAN MONTFRANS J, et al. Secondary production within a seagrass bed (*Zostera marina* and *Ruppia maritima*) in lower Chesapeake Bay[J]. *Estuaries*, 1990, 13: 431—440.
- [18] JEONG S J, YU O H, SUH H L. Secondary production of *Jassa slatteryi* (Amphipoda, Ischyroceridae) on a *Zostera marina* seagrass bed in southern Korea[J]. *Marine Ecology-Progress Series*, 2006, 309: 205—211.
- [19] YU O H, SUH H L. Secondary production of *Synchelidium lenorostralum* (Amphipoda, Oedicerotidae) on a temperate sandy shore, southern Korea[J]. *Journal of Crustacean Biology*, 2002, 22: 467—473.
- [20] FREDETTE T J, DIAZ R J. Life history of *Gammarus mucronatus* Say (Amphipoda: Gammaridae) in Warm Temperate Estuarine Habitats, York River, Virginia[J]. *Journal of Crustacean Biology*, 1986, 6: 57—78.
- [21] PRATO E, BIANCOLINO F, SCARDICCHIO C. Postembryonic growth, development and reproduction of *Gammarus aequicauda* (Martynov, 1931) (Gammaridae) in laboratory culture[J]. *Zoology Studies*, 2006, 45: 503—509.
- [22] ROBERTSON A I. The relationship between annual production: biomass ratios and lifespans for marine macrobenthos[J]. *Oecologia*, 1979, 38: 193—202.
- [23] WILDISH D. Secondary production of four sublittoral, soft-sediment amphipod populations in the Bay of Fundy[J]. *Canadian journal of zoology*, 1984, 62: 1027—1033.
- [24] FRANZ D R, TANACREDI J T. Secondary production of the amphipod *Ampelisca abdita* in the diet of juvenile winter flounder (*Pleu-*

- ronectes americanus*) in Jamaica Bay, New York[J]. *Estuaries*, 1992, 15: 193—203.
- [25] HIGHSMITH R C, COYLE K O. Amphipod life histories: Community structure, impact of temperature on decoupled growth and maturation rates, productivity, and P:B ratios[J]. *American Zoologist*, 1991, 31: 861—873.
- [26] COLLIE J S. Life history and production of three amphipod species on Georges Bank[J]. *Marine Ecology-Progress Series*, 1985, 22: 229—238.
- [27] COVI M P, KNEIB R T. Intertidal distribution, population dynamics and production of the amphipod *Uholorchestia spartinophila* in a Georgia, USA, salt marsh[J]. *Marine Biology*, 1995, 121: 447—455.
- [28] DAUVIN J C. Life cycle, dynamics, and productivity of Crustacea-Amphipoda from the western English Channel. 4. *Ampelisca armoricana* Bellan-Santini et Dauvin[J]. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 1988, 123: 235—252.
- [29] DONN T E, CROKER R A. Seasonal patterns of production in the sandy-beach amphipod *Haustorius canadensis*[J]. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 1986, 22: 675—687.
- [30] HASTINGS M H. The life cycle and productivity of an intertidal population of the amphipod *ampelisca brevicornis* [J]. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 1981, 12: 665—677.
- [31] MOLLER P, ROSENBERG R. Production and abundance of the amphipod *Corophium volutator* on the west coast of Sweden[J]. *Netherlands Journal of Sea Research*, 1982, 16: 127—140.
- [32] WILDISH D J, PEER D. Methods for estimating secondary Production in marine amphipoda[J]. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 1981, 38: 1019—1026.
- [33] DRAKE P, ARIAS A M. Distribution and production of *Microdeutopus gryllotalpa*(Amphipoda: Aoridae) in a Shallow Coastal Lagoon in the Bay of Cadiz Spain[J]. *Journal of Crustacean Biology*, 1995, 15: 454—465.
- [34] CASABIANCA M L. Méthode de calcul de la production par estimation de la mortalité. Application à une population à structure complexe du crustacé *Corophium insidiosum* Crawford (Lagune de Biguglia, Corse)[J]. *Comptes Rendus des Seances de l'Academie des Sciences, Paris, Serie D, Sciences Naturelles*, 1975, 280: 1139—1142.
- [35] WILBER D H, CLARKE D G. Estimating secondary production and benthic consumption in monitoring studies: a Case study of the impacts of dredged material disposal in Galveston Bay, Texas[J]. *Estuaries*, 1998, 21: 230—245.

Secondary production of gammaridae amphipods in macroalgae-based community in Yundang Lagoon

ZHENG Xin-qing¹, HUANG Ling-feng^{1, 2}, JIA Xiao-yan¹, FU Xun-yi³, XU Xiang-wei³, HUANG Bang-qin⁴

(1. Department of Oceanography, Xiamen University, Xiamen 361005, China; 2. Joined Key Laboratory of Marine Environmental Science of Fujian Province, Xiamen University, Xiamen 361005, China; 3. Yundang Lagoon Administration Center of Xiamen City, Xiamen 361005, China; 4. Department of Environmental Science & Engineering, Xiamen University, Xiamen 361005, China)

Abstract: The population structures of Gammaridae amphipods in Yundang Lagoon were studied from November 2007 to May 2008 when macroalgae existed in the lagoon, and their population productions were estimated by the size-frequency method. The results showed that, the amphipods (i. e., *Corophium uenoi*, *Grandidierella japonica* and *Ampithoe valida*) dwelling in the *Ulva lactuca* canopy were characterized by short life cycle, female-biased quantity structure and high proportion of ovigerous individuals and juveniles, revealing high population production and semiannual turnover rate in Gammaridae amphipods, being up to (dw) 101.91 g dw/m²/6 month and 12.34/6 month for *C. uenoi*, 9.49 g dw/m²/6 month and 4.93/6 month for *G. Japonica* and 29.17 g dw/m²/6 month and 8.34/6 month for *A. valida*, respectively. It was suggested that rich food resources from macroalgal canopies and the life cycle strategy of amphipods should be accounted for such high population production of Gammaridae amphipods in Yundang Lagoon. However, the migration of individuals may cause the overestimation of population production of some amphipods, e. g. *A. valida*.

Key words: amphipod; secondary production; turnover rate; macroalgae; Yundang Lagoon